

# TESTS AU SOL DU TÉLESCOPE SPATIAL XMM

E. MAZY, Y. STOCKMAN, P. ROCHUS  
Centre Spatial de Liège (Belgique)

## INTRODUCTION

Le télescope spatial XMM (X-Ray Multi-Mirror Mission) est une des 4 pierres angulaires du programme scientifique de l'ESA (Agence Spatiale Européenne). Etant donné le principe du télescope, les tests au sol sont très importants pour la réussite du projet. Les tests optiques entre autres permettent de qualifier aussi bien la technique de fabrication des miroirs que l'intégration de ceux-ci.

## LA MISSION XMM

### La mission

L'objectif de la mission est l'étude des sources cosmiques dans les rayons X (0.1 - 10 keV) avec une résolution moyenne de 20 à 30 arcsec.

### Le télescope

La charge utile se compose de 3 télescopes (Mirror Module) de 7.5 m de focale : 2 Mirror Modules suivis d'un réseau de diffraction (Reflection Grating Assembly) et un mirror module imageur.

Etant donné les caractéristiques optiques du rayonnement, seules les incidences rasantes sont permises (< 30 arcmin). Le Mirror Module est composé de 58 miroirs

(coques) de type WOLTER I confocaux et co-axiaux (paraboloïde + hyperboloïde). Les sections paraboloïdes et hyperboloïdes ont chacune 300 mm de long et le diamètre d'ouverture des coques s'étage de 306 mm à 700 mm. Cette configuration est nécessaire pour optimiser la surface collectrice du Mirror Module (figure 1) et obtenir ainsi l'observatoire X le plus sensible jamais lancé.

### Fabrication

Pour minimiser le poids de chaque coque ainsi que l'obstruction du Mirror Module, l'épaisseur de chaque coque ne dépasse pas 0.7 mm. La technique de la réplique a été utilisée pour la fabrication des coques :

- polissage d'un mandrin en aluminium, copie conforme en négatif de la coque (rugosité RMS < 0.5 nm).
- évaporation d'une couche d'or (100 nm) sur la surface du mandrin
- électrodéposition d'une couche de Nickel (0.4 à 0.7 mm)
- refroidissement du mandrin pour séparer la coque de celui-ci par dilatation différentielle ( $\alpha_{Ni} \approx \alpha_{Au} \approx 2 \alpha_{Al}$ ).

### Performances

Au sol, les performances de chaque coque devraient être :

- HEW (largeur encerclant 50% de l'énergie du spot) de la réponse impulsionnelle (PSF) meilleure que 16 arcsec (entre 0.1 - 3.0 keV) et 22 arcsec (à 8 keV) ;
- une surface de collection plus grande que 1487 cm<sup>2</sup> à 1.49 keV et 597 cm<sup>2</sup> à 8 keV.

## LES TESTS AU SOL

### Objectifs

Les tests au sol sont destinés à analyser le comportement du Mirror Module dans un environnement proche du spatial : pression, températures, vibrations...

Le canevas des tests est le suivant :

- tests optiques de référence
- tests de vibrations
- tests optiques de référence
- tests thermiques
- tests optiques de référence
- Tests optiques de calibration

Les tests optiques sur le Mirror Modules consistent à analyser la qualité image du Mirror Module et de ses composants (les coques), la diffusion et la réflectivité dans les rayons X.

Etant donnée la longueur d'onde utilisée, les erreurs de forme sont fortement préjudiciables à la résolution.

Les causes de dégradation de la PSF sont multiples :

- les erreurs de forme sur le mandrin
- la technique de fabrication des coques
- les déformations induites par les araignées
- l'intégration des coques et leur position relative longitudinale et transversale

Les tests optiques sont utilisés aussi pour optimiser la technique de fabrication des coques.

### Panther

Un des seuls moyens de test existant jusqu'il y a peu en Europe est PANTER à Neuried (RFA) qui consiste en une source X dans un tube sous vide de

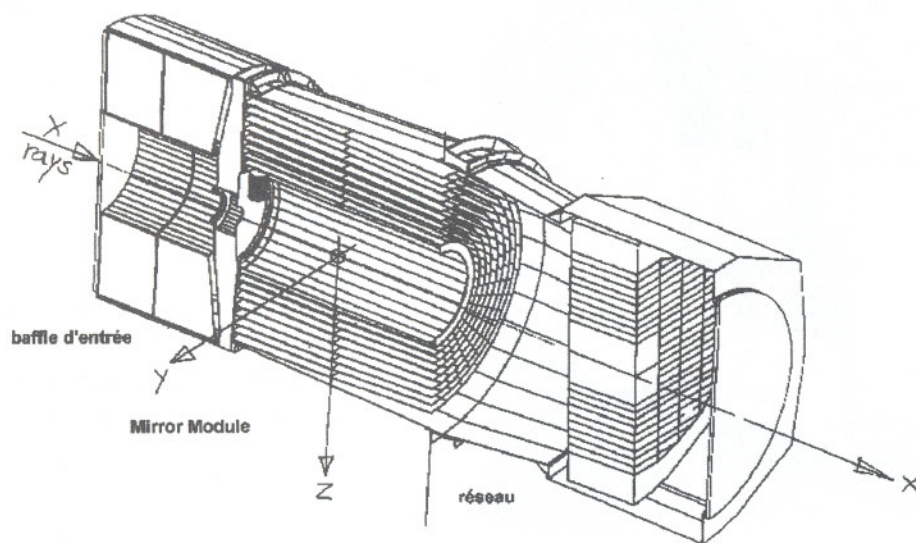


Fig. 1 : Schéma du Mirror Module avec réseau



130 m. Les coques sont illuminées entièrement mais par un flux horizontal légèrement divergent. Cette configuration induit 2 conséquences :

- les 100 premiers mm de la coque ne focalisent pas au foyer du télescope (les faisceaux, après réflexion sur le paraboloïde n'atteignent pas l'hyperboloïde)
- les coques sont soumises à la gravité transversalement ce qui les déforment de manière non symétrique au niveau des araignées de soutien.

## CSL

Un moyen de test a été mis au point au Centre Spatial de Liège (Belgique) pour compléter les résultats de Panter : un axe optique vertical et un flux X collimaté.

A l'heure actuelle, il est impossible de créer un flux X collimaté de grande dimension permettant une illumination complète de toutes les coques (jusqu'à 700 mm de diamètre). La solution choisie a été de décomposer le problème en 3 parties :

- analyser des génératrices de chaque coque avec un faisceau X collimaté ;
- analyser la surface de la coque avec un pinceau X légèrement divergent ;

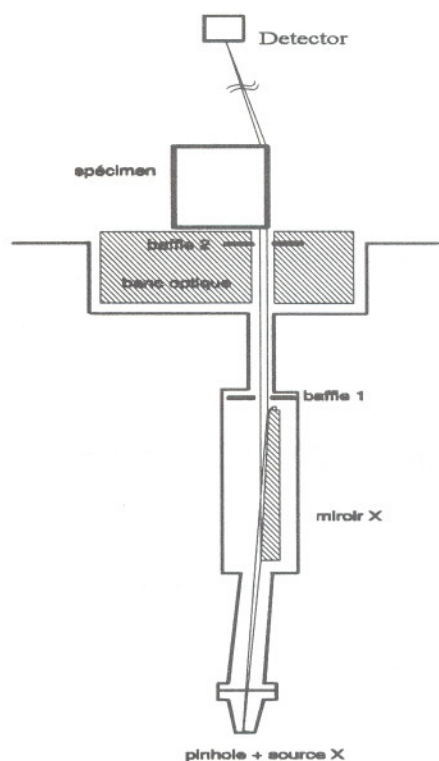


Fig. 2 : Description du collimateur X (pas à l'échelle)

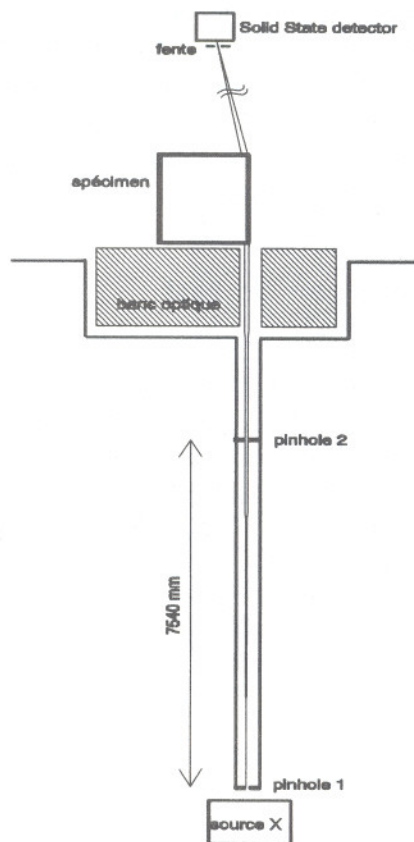


Fig. 3 : Description du pinceau X (pas à l'échelle)

- analyser la coque entière avec un faisceau collimaté EUV (30-58 nm) de 800 mm de diamètre.

Le premier permet d'étudier la qualité image locale en X. Le second apporte des informations sur la réflectivité et la diffusion en X tandis que le troisième permet d'étudier la qualité image globale de la coque et du Mirror Module.

Les 3 systèmes optiques sont alignés verticalement par rapport à la gravité locale (erreur < 10 arcsec).

## Le collimateur X

L'objectif du collimateur X est d'analyser la qualité image locale, le long d'une génératrice de la coque. Une reconstruction mathématique de la PSF totale de la coque à partir de PSF de plusieurs génératrices est possible.

Il se compose d'une source X (1.49 keV et 8.04 keV), d'un trou source de 100  $\mu\text{m}$  au foyer d'un miroir parabolique de 1200 x 80 mm<sup>2</sup> (revêtement : or) hors axe développant une surface utile de 8 x 50 mm<sup>2</sup>. La rugosité RMS du miroir est de l'ordre de 0.2 nm pour limiter la

diffusion. Les erreurs de pente sont limitées à 2 arcsec dans le plan méridional et 5 arcsec dans le plan transversal. Le détecteur au plan focal est un 1152 x 800 CCD (illuminé par l'avant) refroidi à -100°C (figure 2).

## Le pinceau X

L'objectif du pinceau X est la mesure de la réflectivité de la coque et l'étude de la diffusion dans la PSF. Pour de telle mesure, on se contente d'un faisceau X légèrement divergent ( $\pm 14$  arcsec) fourni par une source X et 2 trous séparés de 7540 mm. Le détecteur est un cristal de Germanium refroidi à l'Azote liquide avec une surface de détection de 20 mm de diamètre. Des fentes de taille variable permettent une discrétisation spatiale du spot. Un balayage du spot dans les directions méridionales et transversales donne le profil du spot dans les 2 directions (figure 3).

## Le collimateur de 800 mm

Le faisceau collimaté de 800 mm de diamètre est réalisé avec un collimateur Cassegrain de 800 mm d'ouverture (F/13) optimisé pour les EUV (30-58 nm). Le choix de cette longueur d'onde est imposé par la diffraction. Des analyses ont montré que la contribution à l'HEW de la diffraction en UV (275 nm) est encore trop importante. Par contre, à partir de 60 nm, cette contribution devient plus petite que la qualité image du miroir. La divergence du faisceau collimaté est plus petite que 2 arcsec. Les miroirs sont revêtus au Pt fournissant une réflectivité de près de 20% à 58 nm.

La source EUV est une ECR (Electron Cyclotron Resonance), soit un gaz d'He excité par des micro-ondes.

Le détecteur est un 1152 x 770 CCD (illuminé par l'arrière et aminci) refroidi à -100°C. Une roue à filtre (Al, épaisseur 150 nm ; Al + C, épaisseur 177 nm) devant le détecteur permet de supprimer le visible de la source et de sélectionner respectivement la raie à 58.4 nm et à 30.3 nm (figure 4).



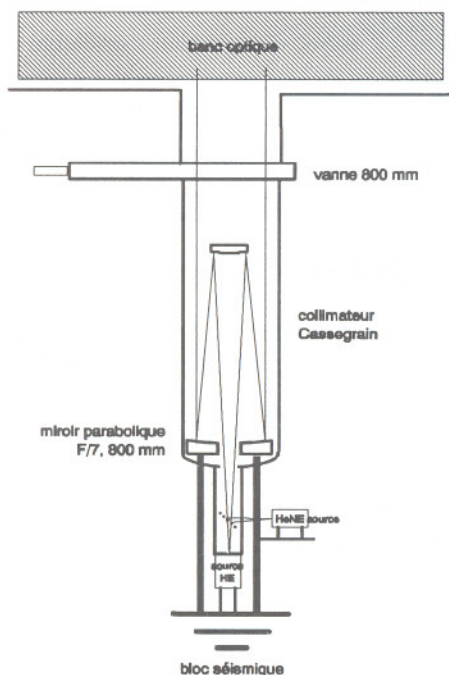


Fig. 4 : Description de la voie EUV

## Alignement à 633 nm

Le spécimen doit être aligné par rapport à l'axe des systèmes optiques, donc par rapport à la gravité du lieu. Ceci est réalisé au moyen de l'observation visuelle (via un diffuseur et une caméra) du foyer de l'hyperboloïde (focale 5.025 m). La conjugaison faisceau collimaté / hyperboloïde n'étant pas stigmatique, un léger tilt du spécimen par rapport à l'axe optique du collimateur se visualise directement par une déformation du foyer de l'hyperboloïde (principalement de la coma). Cette observation nécessite

un faisceau collimaté visible de grande dimension. Le collimateur EUV est réutilisé par l'adjonction d'un second trou source et d'un miroir de renvoi amovible. La source utilisée est alors un laser HeNe (633 nm).

## Le moyen de test

Le moyen de test est composé de 4 cuves à vide (figure 5) : la cuve principale avec un diamètre de 4.5 m et une hauteur de 12.2 m, la cuve EUV, contenant le collimateur EUV, et les 2 tubes X. Le pompage dans la cuve principale est assuré par une pompe Root (3000 m<sup>3</sup>/h) et une pompe rotative (1200 m<sup>3</sup>/h) pour le pompage primaire ainsi que par 2 pompes torbomoléculaires à pallier magnétique (1500 l/s) et une pompe cryogénique (5000 l/s) pour finalement atteindre une pression plus faible que  $2 \cdot 10^{-5}$  mbar.

La cuve principale est équipée d'un banc optique supporté par un bloc sismique donnant les caractéristiques suivantes à l'ensemble :

- une stabilité à l'ensemble meilleure que 2 arcsec.
- une première fréquence propre autour de 9 Hz.

Le banc optique supporte le spécimen et une tour de 9 m avec les détecteurs.

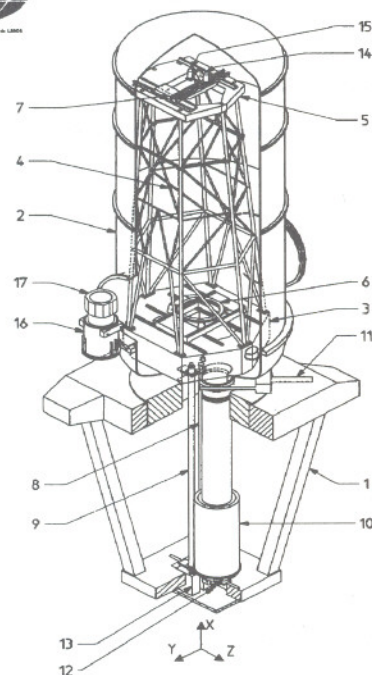


Fig. 5 : Schéma général du moyen de test

1 - bloc sismique, 2 - cuve principale, 3 - banc optique inférieur, 4 - tour, 5 - banc optique supérieur, 6 - mouvement du spécimen, 7 - mouvement des détecteurs, 8 - faisceau collimaté X, 9 - pinceau X, 10 - cuve EUV, 11 - vanne EUV, 12 - source EUV, 13 - source X, 14 - CCD, 15 - Solid State Detector, 16 - support du Mirror Module, 17 - Mirror Module + grating.

Le spécimen possède 5 degrés de liberté (2 translations, une rotation et 2 tilts) et les détecteurs, 3 degrés de liberté chacun (3 translations) au moins.

Pour limiter la contamination du spécimen qui est une source de diffusion et d'obscurcissement supplémentaire, le moyen d'essai et son environnement proche se trouve dans une salle propre Classe 100.

Etant donné le nombre important de coques à tester, le moyen d'essai est automatisé au maximum (pompage, mouvement du spécimen et des détecteurs, monitoring, traitement d'image...).

## PREMIERS RÉSULTATS

Le collimateur EUV est aligné et un premier test avec une coque de démonstration a été réalisé (figure 6).

Le pinceau X est aligné et un premier scanning de test a été réalisé.

Le collimateur X est en cours d'alignement.

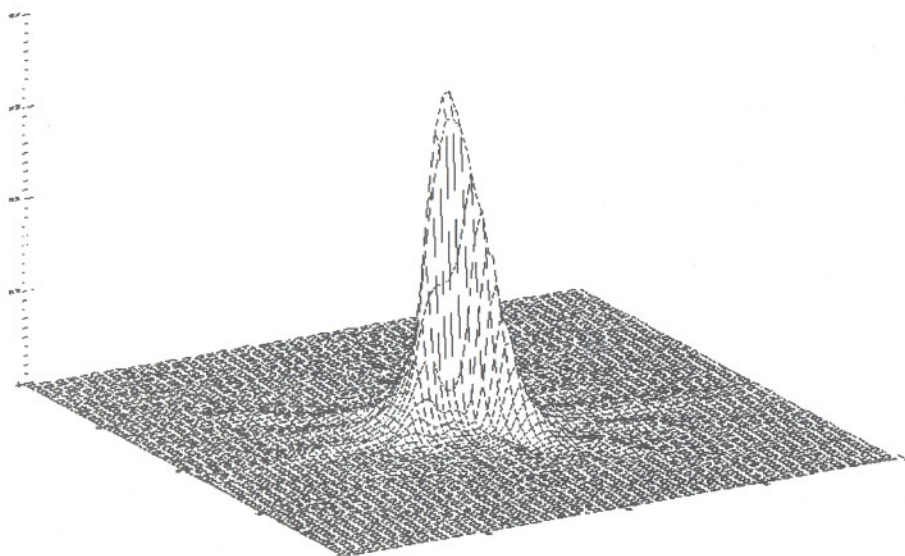


Fig. 6 : Première image de la PSF de la coque 57 au foyer à 30.3 nm (image 48 arcsec x 48 arcsec)